

ANALISIS STABILITAS PONDASI TIANG PANCANG KONSTRUKSI WATERWAY

Iskandar Maricar¹, St. Hijraini Nur¹, A. Amir Syakib Arselan²

ABSTRAK : Studi ini bertujuan untuk menganalisis Daya Dukung Tiang dengan metode Pondasi Melayang pada Konstruksi Waterway PLTMH Tombolo, penurunan Tiang Pancang Kelompok dengan Menggunakan Metode Pondasi melayang pada tanah dengan metode perhitungan analisis, Membuat simulasi penurunan Tiang Pancang Kelompok dengan Menggunakan Metode Pondasi melayang pada tanah dengan menggunakan Software Plaxis. Data primer pada penelitian ini berupa data penyelidikan tanah di lapangan (field investigation) dan hasil uji laboratorium. Penyelidikan Lapangan (field investigation) yang dilakukan berupa Bor inti – Standard Penetration Test (SPT) Sedangkan uji laboratorium yang dilakukan meliputi uji kadar air dan berat isi, uji gradasi / analisa saringan, Konsolidasi, batas – batas Atterberg, dan uji geser langsung. Studi ini menyajikan data tentang perhitungan tanah yang dialami konstruksi waterway dengan menggunakan metode analisis (perhitungan dengan rumus) serta menggunakan metode Numerik (Plaxis V.8.2). Hasil uji Bor inti dan SPT memberikan kondisi stratigrafi tanah di bawah Konstruksi Waterway berupa timbunan setebal 3 m, *lempung berwarna coklat dengan konsistensi lunak* setebal 5 m, dan *lempung berwarna coklat dengan konsistensi keras* setebal 6 m. Berdasarkan analisa yang dilakukan, penurunan tanah pada konstruksi waterway yang terdiri atas penurunan primer dan penurunan sekunder (Konsolidasi) yakni sebesar Setelah dilakukan Perhitungan analisa secara numerik, Maka didapatkan penurunan tiang 15, 65 mm. Sedangkan untuk Penurunan Menurut Program Plaxis 2D di dapatkan penurunan total kelompok tiang sebesar 26, 07 mm.

Kata Kunci : Daya Dukung Tiang, Penurunan, Konsolidasi, PLAXIS.

PENDAHULUAN

Forensik Engineering dikenal sebagai proses investigasi bahan, produk, struktur atau komponen yang gagal atau tidak beroperasi atau fungsi sebagaimana yang diinginkan sehingga menyebabkan cedera atau kerusakan properti. Konsekuensi dari kegagalan ditangani oleh yang bertanggung jawab atas pelaksanaan pembangunan. Subjek diterapkan paling umum dalam kasus-kasus hukum perdata, meskipun mungkin digunakan dalam kasus-kasus hukum pidana. Umumnya, tujuan penyelidikan teknik forensik adalah untuk menemukan penyebab atau penyebab kegagalan dengan maksud untuk meningkatkan kinerja atau kehidupan komponen, atau untuk membantu pengadilan dalam menentukan fakta-fakta kecelakaan. Hal ini juga dapat melibatkan penyelidikan klaim kekayaan intelektual, khususnya hak paten.

Berkaitan dengan ini, salah satu studi kasus yang di dapatkan yakni mengenai Kondisi Waterway PLTMH Tombolo mengalami kerusakan akibat pondasi yang menahan beban tidak mampu menyokong beban keseluruhan yang dimiliki oleh konstruksi tersebut, sehingga mengakibatkan rubuhnya waterway PMLTH sebesar 18 m, sehingga perlu diadakan perbaikan/perencanaan ulang bangunan struktur pondasi yang menopang waterway tersebut

Tugas akhir ini membahas tentang analisis stabilitas pondasi, apakah mampu menahan beban

vertikal dan horisontal yang ada, dimana dengan Menggunakan Pondasi Tiang Pancang yang melayang. Selanjutnya dalam tugas akhir ini pula, penulis melakukan analisa penurunan dengan bantuan Plaxis dari data yang diperoleh dari studi penyelidikan karakteristik fisik dan mekanis tanah di laboratorium serta tabel korelasi yang diberikan beberapa ahli dari berbagai literatur.

Jurnal ini memberikan gambaran bagaimana Menganalisis Daya Dukung Tiang dengan metode Pondasi Melayang pada Konstruksi Waterway PLTMH Tombolo, Menganalisis penurunan Tiang Pancang Kelompok dengan Menggunakan Metode Pondasi melayang pada tanah dengan metode perhitungan analisis, Membuat simulasi penurunan Tiang Pancang Kelompok dengan Menggunakan Metode Pondasi melayang pada tanah dengan menggunakan Software Plaxis, yang membandingkan antara perhitungan manual dan Analisa dengan menggunakan software.

TINJAUAN PUSTAKA

Kebanyakan tiang pancang dipancangkan ke dalam tanah, akan tetapi ada beberapa tipe yang dicor setempat dengan dibuatkan lubang terlebih dahulu dengan mengebor tanah, sebagaimana kalau mengebor untuk penyelidikan tanah.

Menurut cara pemindahan beban tiang pancang dibagi 2 yakni:

¹Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, INDONESIA

²Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar 90245, INDONESIA

1. Point Bearing Pile (End Bearing Pile)

Tiang pancang dengan tahanan ujung, tiang ini meneruskan beban melalui tahanan ujung ke lapisan tanah keras.

2. Friction Pile

Friction Pile pada tanah dengan butir-butir tanah kasar (*Coarse Grained*) dan sangat mudah dilalui air, tiang ini meneruskan beban ke tanah melalui geseran kulit (*Skin Friction*). Pada proses pemancangan tiang-tiang ini dalam suatu grup (kelompok) tiang yang dimana satu dengan lainnya saling berdekatan akan menyebabkan berkurangnya pori-pori tanah dan memadatkan tanah diantara tiang-tiang tersebut dan tanah disekeliling kelompok tiang tersebut disebut "Compaction Pile".

Kapasitas dukung ultimit neto tiang (Q_u), adalah jumlah dari tahanan ujung bawah ultimit (Q_b) dan tahanan gesek ultimit (Q_s) antara sisi tiang dan tanah di sekitarnya dikurangi dengan berat sendiri tiang (W_p). Bila dinyatakan dalam persamaan, maka:

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

dengan,

W_p = berat sendiri tiang (kN)

Q_u = kapasitas dukung ultimit neto (kN)

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

Kapasitas Dukung Tiang dalam Tanah Granuler

Karena pada tanah granuler tidak mempunyai kohesi atau $c = 0$ dan diameter tiang relatif sangat kecil dibanding dengan panjangnya, maka suku persamaan $c_b N_c = 0$ dan $0,5 \gamma d N_q$ dapat diabaikan, sehingga

$$Q_u = A_b(c_b N_c + p_b N_q + 0,5 \gamma d N_q) + \sum A_s (c_s + K_s p_o \tan \delta) - W_p$$

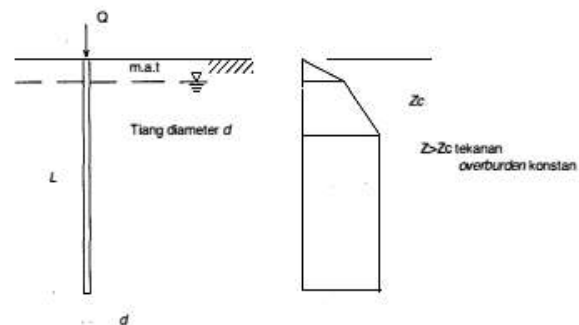
menjadi

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \\ &= A_b f_b + A_s f_s - W_p \\ &= A_b p_b' N_q + A_s K_s p_o' \tan \delta - W_p \end{aligned}$$

Akibat sulitnya memperoleh contoh tanah tak terganggu pada tanah granuler (contohnya tanah pasir atau kerikil), estimasi kapasitas dukung tiang sering diperoleh dari data pengujian di lapangan, seperti pengujian SPT dan pengujian penetrasi kerucut statis (sondir). Sudut gesek dalam (ϕ) dapat diambil dari pendekatan empiris yang diperoleh dari pengujian-pengujian tersebut.

Tahanan Ujung Ultimit (Q_b) metode Poulos dan Davis

Mengacu pada saran Vesic (1967), untuk mengestimasi besarnya tahanan ujung maksimum tiang pada tanah non kohesif (granuler), Poulos dan Davis (1980) menyarankan bentuk variasi distribusi tegangan vertikal efektif dan kedalaman, seperti yang disajikan pada Gambar 2.2. Di sini terlihat bahwa tekanan vertikal bertambah sampai mencapai kedalaman tertentu (z_c), sesudah itu konstan (yaitu sama dengan tekanan overburden efektif pada kedalaman z_c).



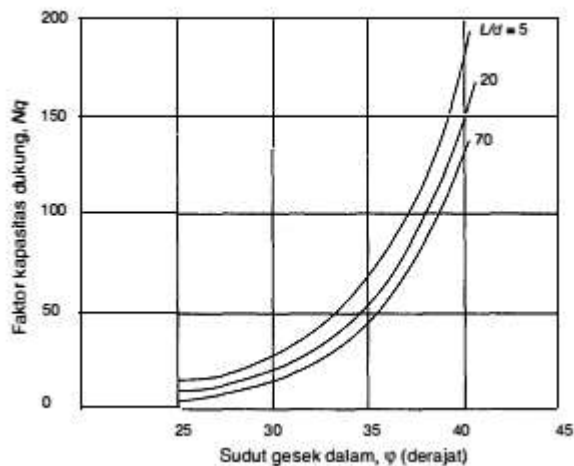
Gambar Distribusi tegangan vertikal di sekitar tiang pada tanah pasir (Poulos dan Davis, 1980).

Tahanan ujung ultimit dinyatakan dalam Persamaan

$$Q_b = A_b f_b$$

$$f_b = p_b' N_q$$

dengan N_q diambil dari usulan Berezantsev (1961) yang dilihat dalam Gambar berikut. Terdapat beberapa usulan untuk menentukan hubungan antara ϕ dan N_q . Poulos dan Davis (1980) menyarankan nilai N_q yang diusulkan oleh Berezantsev (1961). Nilai-nilainya merupakan fungsi dari L/d (L = kedalaman tiang, d = lebar atau diameter tiang) dan sudut gesek dalam efektif tanah (Gambar).



Gambar Hubungan ϕ dan N_q (Berezantsev, 1961).

Efisiensi Kelompok Tiang

Beberapa persamaan efisiensi tiang telah diusulkan untuk menghitung kapasitas kelompok tiang, namun semuanya hanya bersifat pendekatan. Persamaan-persamaan yang diusulkan didasarkan fakta susunan tiang, jarak relatif dan diameter tiang, dengan mengabaikan panjang tiang, variasi bentuk tiang yang meruncing, variasi sifat tanah dengan kedalaman dan pengaruh muka air tanah.

Salah satu dari persamaan-persamaan efisiensi tiang tersebut, yang disarankan oleh Converse-Labarre formula, sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

dengan,

E_g = Efisiensi Kelompok Tiang

m = Jumlah Baris Tiang

n = Jumlah Tiang Dalam Satu Baris

e = $\arctan d/s$, dalam derajat

s = Jarak Pusat Ke Pusat Tiang (m)

d = Diameter Tiang (m)

Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Untuk menghitung kapasitas tiang yang berkaitan dengan keruntuhan blok. Terzaghi dan Peck (1948) mengambil asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Pelat penutup tiang (pile cap) sangat kaku.
- Tanah yang berada di dalam kelompok tiang-tiang berkelakuan seperti blok padat.

Dengan asumsi-asumsi tersebut, keseluruhan blok dapat dianggap sebagai fondasi-dalam (Gambar 2.5), dengan kapasitas ultimit yang dinyatakan oleh persamaan (Terzaghi dan Peck, 1948):

$$Q_g = 2D(B+L)c + 1,3 c_b N_c B L$$

.(Persamaan 2.6)

dengan,

Q_g = kapasitas ultimit kelompok, nilainya harus tidak melampaui nQ_u (dengan n = jumlah tiang dalam kelompoknya) (kN)

c = kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m^2)

c_b = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m^2)

B = lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang-tiang (m)

L = panjang kelompok tiang (m)

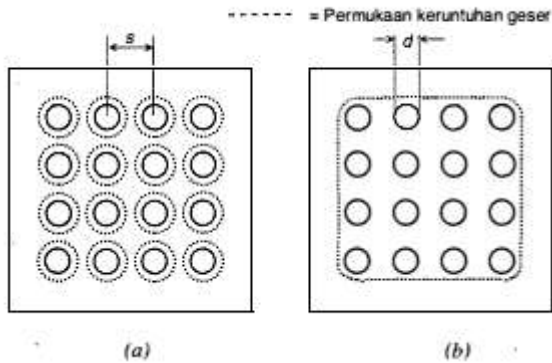
D = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m)

N_c = faktor kapasitas dukung

Faktor pengali 1,3 pada suku persamaan ke-2 adalah untuk luasan kelompok tiang yang berbentuk empat persegi panjang. Untuk bentuk-bentuk luasan yang lain dapat disesuaikan dengan persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi untuk fondasi dangkal.

Dalam hitungan kapasitas kelompok tiang maka dipilih dari hal-hal berikut:

- Jika kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih kecil daripada kapasitas tiang tunggal kali jumlah tiang (nQ_u), maka kapasitas dukung fondasi tiang yang dipakai adalah kapasitas kelompoknya (Q_g)
- Sebaliknya, bila dari hitungan kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih besar, maka dipakai kapasitas tiang tunggal kali jumlahnya (nQ_u)



Gambar Tipe keruntuhan dalam kelompok tiang (Coduto, 1994).

(a) Tiang tunggal.

(b) Kelompok tiang.

Analisa Penurunan Tiang Tunggal

Penurunan kepala tiang yang terletak pada tanah homogen dengan modulus elastis dan rasio Poisson yang konstan dapat dihitung dengan persamaan yang disarankan oleh Poulos dan Davis (1980), sebagai berikut :

$$S = \frac{QI}{E_s d}$$

$$I = I_0 R_k R_h R_\mu$$

dengan,

S = Penurunan kepala tiang

Q = Beban yang bekerja

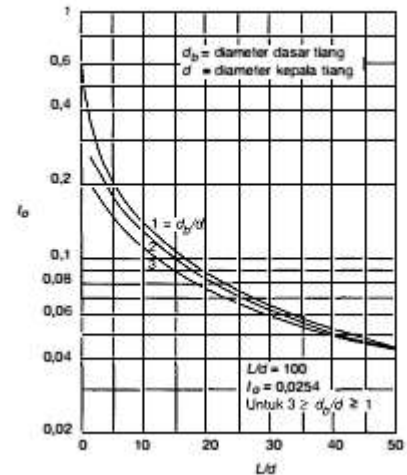
I_0 = Faktor pengaruh penurunan untuk tiang yang tidak mudah mampat (incompressible) dalam massa semi tak terhingga (Gambar)

R_k = Faktor koreksi kemudah-mampatan (kompresibilitas) tiang untuk 1.1 = 0,5 (Gambar)

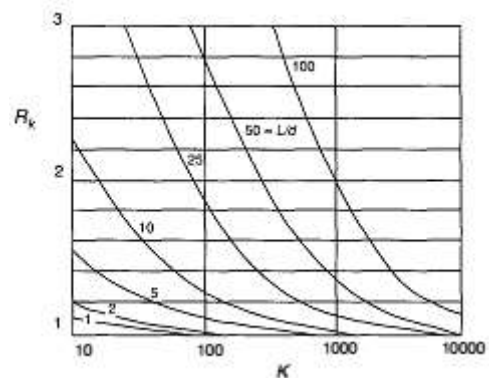
R_h = Faktor koreksi untuk ketebalan lapisan yang terletak pada tanah keras (Gambar)

R_μ = Faktor koreksi angka Poisson 1.1 (Gambar)

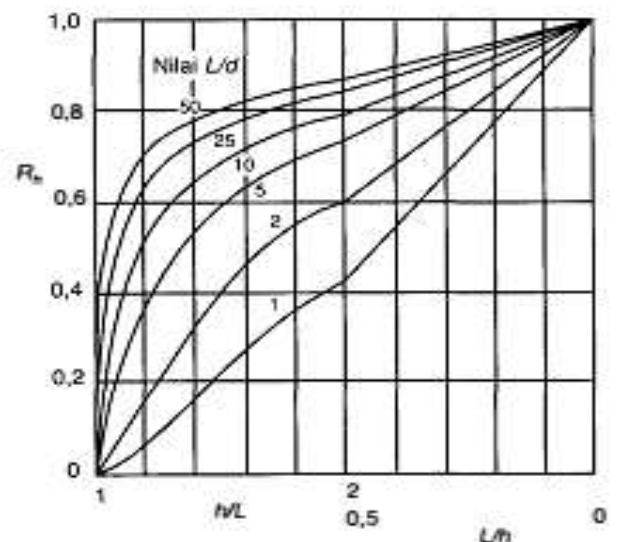
H = kedalaman total lapisan tanah



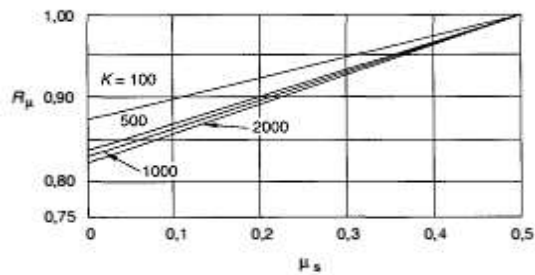
Gambar Faktor penurunan I_0 (Poulos dan Davis, 1980)



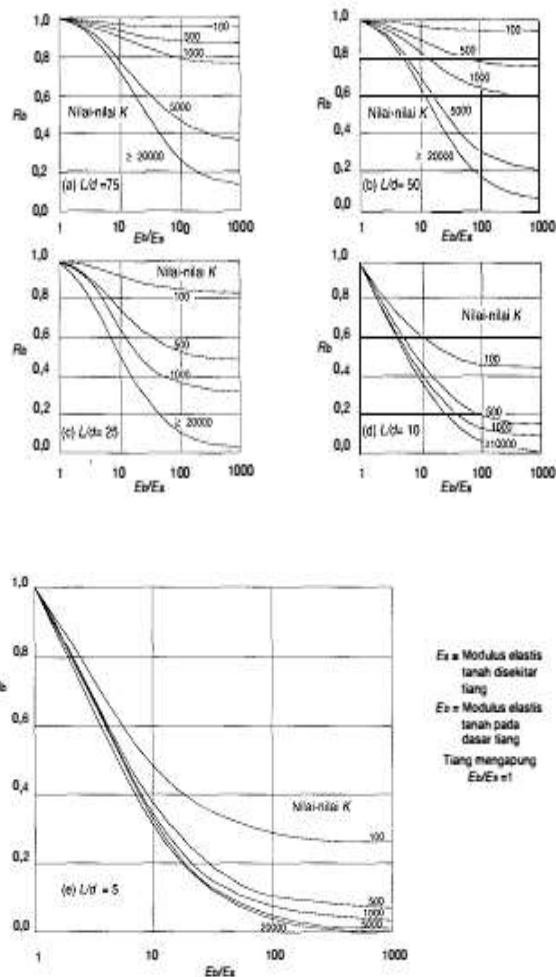
Gambar Koreksi kompresi, R_k (Poulos dan Davis, 1980).



Gambar Koreksi kedalaman, R_h (Poulos dan Davis, 1980)



Gambar Koreksi angka Poisson, R_μ (Poulos dan Davis, 1980)



Gambar Koreksi kekakuan lapisan pendukung, R_b (Poulos dan Davis, 1980).

Analisa Penurunan Kelompok Tiang.

Penurunan akibat beban merupakan akumulasi dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan seketika yang merupakan bentuk penurunan elastis terjadi dengan segera sesudah tegangan bekerja pada tanah berbutir halus kerang atau jenuh sebagian tanpa melibatkan perubahan kadar air (*moisture content*). Bekerjanya tegangan pada tanah yang berbutir halus yang jenuh (dan hampir jenuh) akan menghasilkan regangan yang tergantung kepada waktu.

Penurunan yang tergantung terhadap waktu disebut penurunan konsolidasi.

Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) yang terjadi dibagi menjadi penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*) dan penurunan konsolidasi sekunder (*secondary consolidation settlement*). Penurunan total dinyatakan dengan persamaan:

$$S = S_i + S_c \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.9})$$

Keterangan:

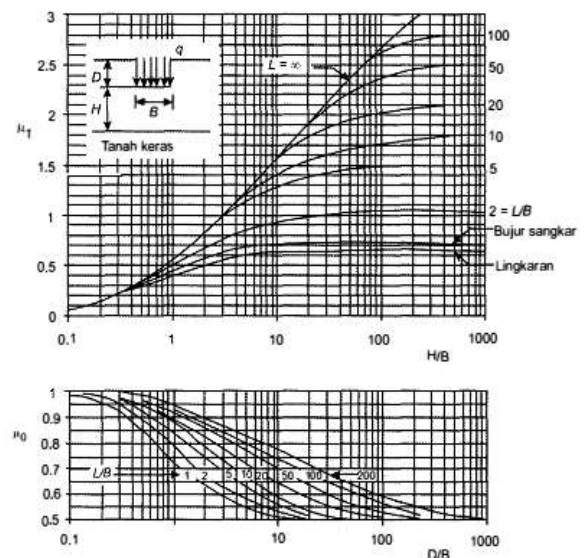
S = Penurunan total

S_i = Penurunan seketika

S_c = Penurunan konsolidasi

Penurunan Segera (Seketika)

Penurunan seketika adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan ($S_r\%$) < 90%.



Gambar Hubungan L/b dan μ_1 dan μ_2 (Terzaghi, 1943)

Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*), merupakan salah satu proses penurunan yang terjadi pada lempung jenuh berbutir kecil dan tergantung pada waktu. Proses terjadinya penurunan konsolidasi primer diakibatkan oleh adanya dissipasi tekanan air pori, serta keluarnya udara dalam rongga dari massa tanah.

Proses keluarnya air dari pori-pori tanah secara perlahan-lahan sebagai akibat adanya penambahan beban serta transfer proporsi kelebihan tekanan air pori

ke tegangan efektif, menyebabkan terjadinya penurunan yang merupakan fungsi dari waktu (*time-dependent settlement*). Selama konsolidasi terjadi, angka pori e akan terus mengalami perubahan, dan hubungannya dengan tegangan (σ) ditunjukkan dengan grafik hubungan antara e -log σ' .

Macam Lempung	β
Lempung sangat sensitif	1 – 1,2
Lempung terkonsolidasi normal (normally consolidated)	0,7 – 1,0
Lempung terkonsolidasi berlebihan (overconsolidated)	0,5 – 0,7
Lempung terkonsolidasi sangat berlebihan (heavily overconsolidated)	0,2 – 0,5

Tabel. Nilai-nilai β untuk koreksi Penurunan Konsolidasi (Skempton dan Bjerrum, 1957))

Analisis dan Pemodelan Penurunan Tanah dengan Metode Elemen Hingga (FEM) PLAXIS

sesuai dengan kontribusi elemennya.

PLAXIS adalah program komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi dalam bidang geoteknik. Program ini menerapkan metode antarmuka grafis yang mudah digunakan sehingga pengguna dapat dengan cepat membuat model geometri dan jaring elemen berdasarkan penampang melintang dari kondisi yang ingin dianalisis.

DATA METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

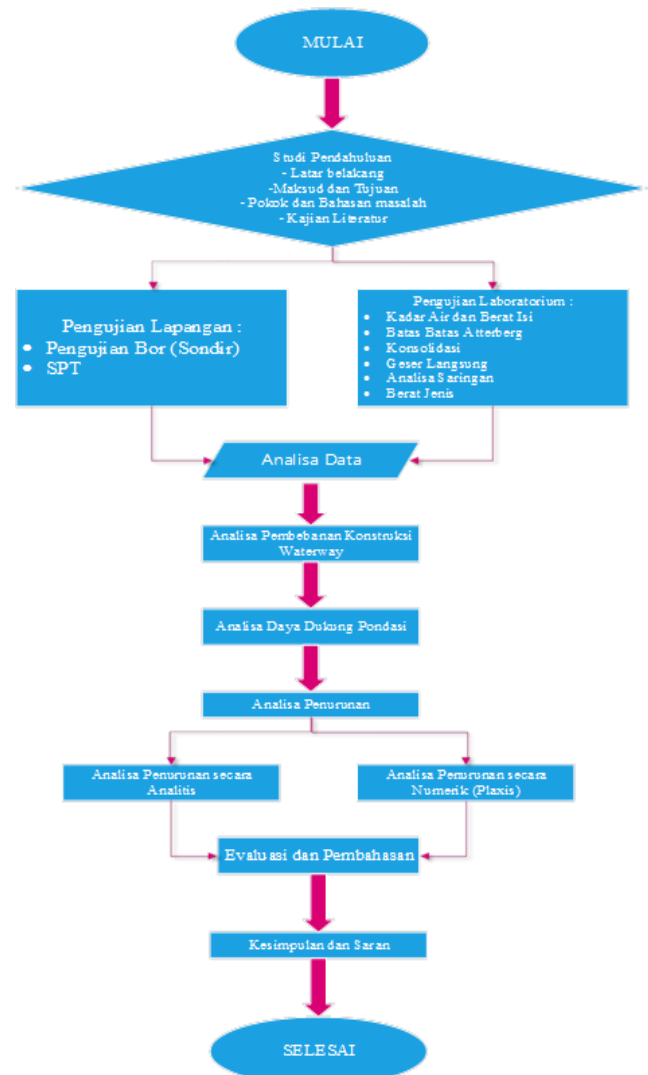
Secara geografis Saluran Waterway Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PMLTH) terletak di Kelurahan Tamaona & Desa Pao, Kabupaten. Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 3.1). Tata guna lahan disekitar Waterway adalah Sungai yang memiliki, muka air sangat rendah dan hampir menyentuh dasar sungai sehingga pada perhitungan ini nilai beban akibat arus sungai dianggap sama dengan nol. PLTMH Tombolo Energy dengan Koordinat 5°11'07.78"S 119°56'44.78"E

Pengumpulan data

Data primer pada penelitian ini berupa data penyelidikan tanah di lapangan (field investigation) dan hasil uji laboratorium. Penyelidikan Lapangan (field investigation) yang dilakukan berupa Bor inti–Standard Penetration Test (SPT) Sedangkan uji laboratorium yang dilakukan meliputi uji kadar air dan berat isi, uji gradasi / analisa saringan, Konsolidasi, batas – batas Atterberg, dan uji geser langsung.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini adalah sebagai berikut :



Data – data Penelitian

Data Mekanika Tanah

Sifat tanah dasar merupakan faktor utama dalam penentuan jenis, karakteristik, dimensi, dan kekuatan perkuatan tanah yang diperlukan dalam mengurangi penurunan yang terjadi pada badan jalan. Data primer pada penelitian ini berupa data penyelidikan tanah di lapangan (field investigation) dan hasil uji laboratorium. Penyelidikan Lapangan (field investigation) yang dilakukan berupa Bor inti–Standard Penetration Test (SPT) Sedangkan uji laboratorium yang dilakukan meliputi uji kadar air dan berat isi, uji gradasi / analisa saringan, Konsolidasi, batas – batas Atterberg, dan uji geser langsung.

a. Penyelidikan Lapangan

PROYEK : STUDI KERUSAKAN WATER WAY PLTMH																		
LOKASI : TOMBOLO PAO-MALINO																		
TANGGAL MULAI :15/08/2015																		
CORE DIA.																		
NO. TITIK BOR : DH-01																		
TANGGAL SELESA:15/08/2015																		
CASING DIA :																		
KOORDINAT :																		
KEDALAMAN BOR:13 m																		
MASTER BOF : ADOM																		
G W L	Depth (meter)	Symbol	Core Recovery (%) 40 80	ROCK/SOIL DESCRIPTION	RQD (%)	Sampling	SPT-N value (Blows/15cm)											
							N1	N2	N3	N	0	10	20	30	40	50	60	
	0.0			Timbunan, Coklat														
	0.5																	
	1.0																	
	1.5																	
	2.0						4	2	3	5								
	2.5			Lempung, coklat muda, konsistensi lunak														
	3.0																	
	3.5																	
	4.0						1	2	2	4								
	4.5																	
	5.0			Lempung, coklat, konsistensi keras														
	5.5																	
	6.0						7	2	2	4								
	6.5																	
	7.0																	
	7.5																	
	8.0						4	12	25	37								
	8.5																	
	9.0																	
	9.5																	
	10.0						12	16	35	51								
	10.5																	
	11.0																	
	11.5																	
	12.0						16	26	41	60								
	12.5																	
	13.0																	
	13.5																	
	14.0					60/7				60								
END BORING																		
LEGEND																		
<div><div><div>UDS</div><div>DS</div></div><div><div>N-SPT Clay & Silt</div><div><2 very soft</div><div>2-4 soft</div><div>4-8 medium</div><div>8-15 stiff</div><div>15-30 very stiff</div><div>>30 hard</div></div><div><div>clay</div><div>I silt</div><div>..... sand</div></div><div><div>^1 tuff</div><div>o gravel</div><div>H lime stone</div><div>++ Metalline stone</div></div><div><div>N-SPT Sand</div><div><4 very loose</div><div>4-10 loose</div><div>10-30 medium</div><div>30-50 dense</div></div></div>																		

Tabel Data Pengujian Lapangan (SPT)

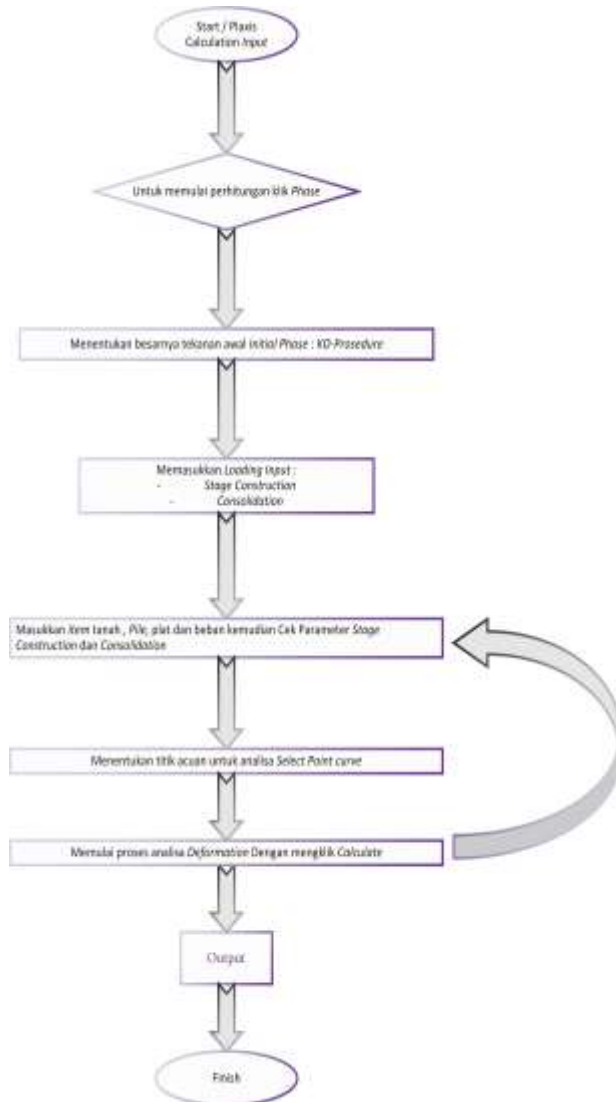
b. Penyelidikan Laboratorium

Penyelidikan laboratorium terhadap tanah hasil bor inti di lapangan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil FT-UH. Pengujian laboratorium terdiri dari pengujian sifat – sifat fisik dan mekanis tanah yaitu uji kadar air dan berat isi tanah, uji berat volume, uji batas-batas Atterberg, Konsolidasi, uji analisa saringan, dan uji geser langsung tanah. Berikut adalah data-data hasil penyelidikan tanah di laboratorium :

Jenis Pengujian	Kedalaman (m)											
	0 - 1	1 - 2	2,45 - 3	4,45 - 5	5 - 6,5	6 - 7	7,5 - 8	8-9	9-10	10-11	11-12	12 - 13
Berat Jenis	2,68	2,70	2,71	2,68	2,75	2,67	2,73	2,71	2,70	2,71	2,67	2,68
Kadar Air (%)	33,36	30,87	28,82	24,99	38,06	29,67	23,43	42,31	21,09	39,92	24,32	26,04
Batas-batas Atterberg												
• LL (%)	35,95	34,37	36,47	37,82	47,25	45,62	48,30	39,56	48,03	37,01	39,77	33,01
• IP (%)	14,81	12,32	12,10	16,52	12,35	12,50	13,27	14,07	13,51	14,44	13,56	11,56
Analisa Saringan												
• Tertahan Saringan No. 200 (%)	90,30	86,00	74,00	90,20	74,20	84,80	86,40	93,50	92,10	92,40	90,30	90,60
Konsolidasi												
• Cc	-	-	-	-	0,097	0,285	-	-	-	-	-	-
• Cs	-	-	-	-	0,029	0,034	-	-	-	-	-	-
Geser Langsung												
• c (kg/cm ²)	-	-	-	-	0,10	0,17	-	-	-	-	-	-
• ϕ (°)	-	-	-	-	30	19	-	-	-	-	-	-

Simulasi Model Pada Program PLAXIS 2D

Simulasi numerik menggunakan bantuan program Plaxis 2D. Tahapan *plaxis input* diperlihatkan pada Gambar



Gambar Diagram alir tahapan *Plaxis Input Model*

HASIL DAN PEMBAHASAN

PERHITUNGAN DENGAN 6 TIANG

Total Gaya pada kaki Kolom (Berdasarkan Hitungan SAP 2000)

Hasil Analisa struktur atas				
	1.05 D+0.9 L+1.0 G	1.2 D+1.6 L	1.4 D	1.05 D+0.9 L-1.0 G
	137.57	224.05	32.45	137.57
	113.64	185.1	39.92	113.64
V	251.21	409.15	72.37	251.21
Mx	0.38	0.41	0.08	0.38
	-0.14	-0.13	-0.06	-0.14
	-0.24	-0.28	-0.02	-0.24
	7.64	12.66	1.89	7.64
	6.12	10.2	1.37	6.12
My	13.76	22.86	3.26	13.76
Fx	7.1	11.81	1.68	7.1
	3.94	6.54	0.97	3.94
	3.16	5.27	0.71	3.16
	-2.52	-3.9	-0.71	-2.52
	3.53	5.54	1.03	3.53
Fy	1.01	1.64	0.32	1.01

Gaya vertikal yang bekerja adalah **409,15 kN**.

Tahanan Izin Tiang Tunggal

Tahanan Ujung Tiang

$$Q_b = A_b \cdot f_b \text{ atau } f_b = pb \cdot Nq$$

Dimisakan, kedalaman kritis $z_c < 3$ m. Dengan $\varphi = 32,5^\circ$, sehingga diperoleh : $Z_c/d = 6$, atau $Z_c = 6 \times 0,3 = 1,8 \text{ m} < 3 \text{ m}$, dengan demikian anggapan $z_c < 3$ m adalah benar, sehingga tekanan overburden pada $z_c > 1,8 \text{ m}$ adalah :

$$Po' = 1 \times 21,167 + 0,8 (23,435 - 9,81) = 32,067 \text{ kN/m}^2$$

Nilai ini digunakan dalam hitungan tiang gesek tiang pada $z_c > 1,8 \text{ m}$ dan tahanan ujung tiang, yakni $pb = po = 32,067 \text{ kN/m}^2$

Tahanan Ujung Ultimit Tiang

Q_b dihitung dengan memperhatikan kenaikan ϕ .

$$\Phi = \frac{1}{2} (\phi_1' + 40^\circ) = 0,5 (30 + 40^\circ) = 35^\circ$$

$$L/d = 3/0,3 = 10, \text{ diperoleh } Nq = 55$$

$$Ab = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,3^2 = 0,0765 \text{ m}^2$$

$$Q_b = A_b \cdot f_b \text{ atau } f_b = pb \cdot Nq$$

$$Q_b = 0,0765 \times 32,067 \times 55 = 134,92 \text{ kN}$$

Tahanan gesek Tiang

$$Q_s = A_s \cdot f_s \text{ dan } f_s = K_a \cdot p_o' \cdot \tan \delta$$

$$\text{Keliling Tiang} = \pi \cdot d = 3,14 \cdot 0,3 = 0,942 \text{ m}$$

$$Q_s = \sum A_s \cdot K_a \cdot p_o' \cdot \tan \delta$$

$$0,942 \times (3 - 1,8) \times 1,2 \times \frac{1}{2} (35 + 32,067) = 45,49$$

$$0,942 \times (7,5 - 3) \times 1,2 \times 32,067 = 163,12$$

$$0,942 \times (14 - 7,5) \times 1,2 \times 32,067 = 235,62$$

$$Q_s = 45,49 + 163,12 + 235,62 = 444,23 \text{ kN}$$

Berat Tiang Tunggal

$$W_p = \pi r^2 L \cdot \gamma_p$$

$$W_p = 3,14 \times 0,15^2 \times 3 \times 78,5$$

$$W_p = 16,64 \text{ kN}$$

Tahanan Ultimit Tiang Tunggal

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

$$Q_u = 134,92 + 444,23 - 16,64$$

$$Q_u = 562,51 \text{ kN}$$

Tahanan Izin Tiang Tunggal

$$Q_a = \frac{Q_u}{3}$$

$$Q_a = \frac{562,51}{3}$$

$$Q_a = 187,5$$

Efisiensi Kelompok Tiang

$$\text{Diameter tiang pancang (D)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat jarak antar tiang (S)} = \geq 2,5 D = 75 \text{ cm}$$

$$= \leq 3,0 D = 90 \text{ cm}$$

$$\text{Jumlah tiang pancang (n)} = 1 + 3k,$$

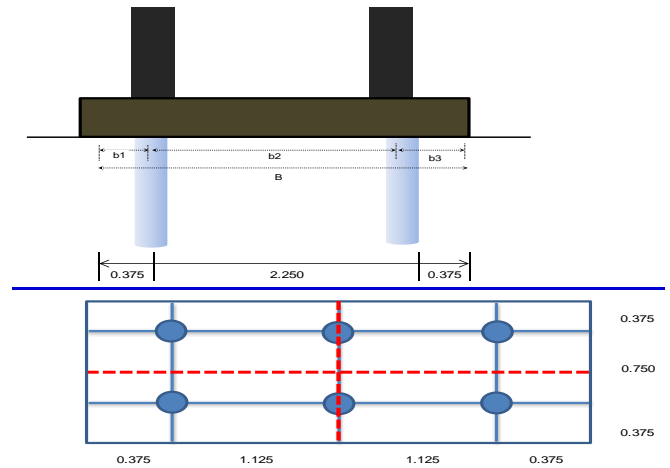
$$k = \text{Bilangan Bulat}$$

$$\text{Diambil nilai } k = 1$$

$$n = 6$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

Daya dukung vertikal kelompok tiang = $E_g \times \text{Jumlah Pile} \times \text{daya dukung tiang}$



Gambar Tampilan Detail Potongan Pondasi dan Pile Cap Konstruksi

Adapun Hasil Perhitungan Efisiensi Tiang dengan Menggunakan 6 Tiang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} m &= 2 \\ n &= 3 \\ D &= 30 \text{ cm} \\ s &= 112,5 \text{ cm} \\ \Phi &= \arctan(30/112,5) \\ &= 14,93141718 \\ E_g &= \frac{1 - 14,93(3-1) \times 2 + (2-1)3}{90,2 \cdot 3} \\ E_g &= 1 - 0,19356 \\ E_g &= 0,80644 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya dukung vertikal kelompok tiang} &= E_g \times \text{Jumlah Pile} \times \text{daya dukung tiang} \\ &= 0,80644 \times 6 \times 8,36 \\ &= 40,45778737 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kontrol: Daya dukung vertikal kelompok tiang \geq Gaya aksial yang terjadi
 $40,45778737 \text{ ton} \geq 46,315 \text{ (ReCheck...!!!)}$

Efisiensi kelompok tiang dengan jumlah 6 tiang Sebesar 87,345 %.

Maka di ambil langkah pencegahan sehingga alternatif yang dilakukan adalah menambah jumlah tiang menjadi 8 buah.

PERHITUNGAN DENGAN 8 TIANG

Untuk perhitungan 8 tiang, contoh perhitungan sama dengan 6 tiang sampai perhitungan tahanan izin tiang tunggal.

Menghitung Efisiensi Kelompok Tiang

Daya Dukung Ijin Tekan dan Tarik Berdasarkan Data Tanah

$$P_{all} = \frac{qc \times A_p}{SF1} + \frac{\sum l_i f_i \times A_{st}}{SF2}$$

$$P_{tall} = \frac{\sum l_i f_i \times A_{st} \times 0,70}{SF2} + W_p$$

Depth (m)	l_i	Soil	N	N_{corr}	q_c	A_p	A_{st}	f_i	$l_i f_i$	$\sum l_i f_i$	W_p	P_{all}	P_{tall}
Ex.	Pile	(m)	Type	SPT	(ton/m ²)	(m ²)	(m)	(ton/m ²)	(t/m)	(t/m)	(ton)	(ton)	(ton)
0		0	C	0	0	0.0706	0.942	0	0	0			
1		1	C	3	3	0.0706	0.942	2.5	2.5	2.5			
2		1	C	5	5	0.0706	0.942	5	5	7.5			
3	0	1	C	4	4	0.0706	0.942	4	4	11.5	0	5.5339	1.8967
4	1	1	C	4	4	0.0706	0.942	4	4	15.5	0.0715	6.4764	2.628
5	2	1	C	4	4	0.0706	0.942	4	4	19.5	0.143	7.4189	3.3592
6	3	1	C	4	4	0.0706	0.942	4	4	23.5	0.2146	8.3613	4.0905
7	4	1	C	4	4	0.0706	0.942	4	4	27.5	0.2861	9.3038	4.8217
8	5	1	C	37	37	0.0706	0.942	12	12	39.5	0.3576	35.432	6.8725
9	6	1	C	44	44	0.0706	0.942	12	12	51.5	0.4291	43.202	8.9232
10	7	1	C	51	51	0.0706	0.942	12	12	63.5	0.5006	50.972	10.974
11	8	1	C	56	56	0.0706	0.942	12	12	75.5	0.5721	56.976	13.025
12	9	1	C	60	60	0.0706	0.942	12	12	87.5	0.6437	62.981	15.075
13	10	1	C	60	60	0.0706	0.942	12	12	99.5	0.7152	65.809	17.126
14	11	1	C	60	60	0.0706	0.942	12	12	111.5	0.7867	68.636	19.177

Tabel Daya Dukung Izin Tekan dan Tarik tiap kedalaman

Daya Dukung Ijin Berdasarkan Kekuatan Bahan

Digunakan Tiang Pancang baja

$$P_{all} = \sigma' b \times A_p$$

	Daya dukung ijin tekan
Metode	(ton)
N-SPT	8.36
Mutu Bahan	1152.31

Tabel Daya Dukung Izin Tekan Berdasarkan Kekuatan bahan

Menghitung Kebutuhan Tiang Pancang

$$V = \text{Pile Cap} = 5.40 \text{ ton}$$

$$V = \text{Beban Kaki Kolom} = 40.92 \text{ ton}$$

$$V_{tot} = \text{Total Beban Vertikal} = 46.32 \text{ ton}$$

Efisiensi Kelompok Tiang

$$\text{Diameter tiang pancang (D)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat jarak antar tiang} = \geq 2.5 D = 75 \text{ cm}$$

$$= \leq 3.0 D = 90 \text{ cm}$$

$$\text{Jumlah tiang pancang (n)} = 1 + 3.k,$$

$$k = \text{Bilangan Bulat}$$

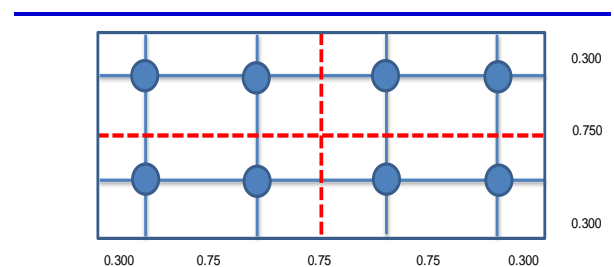
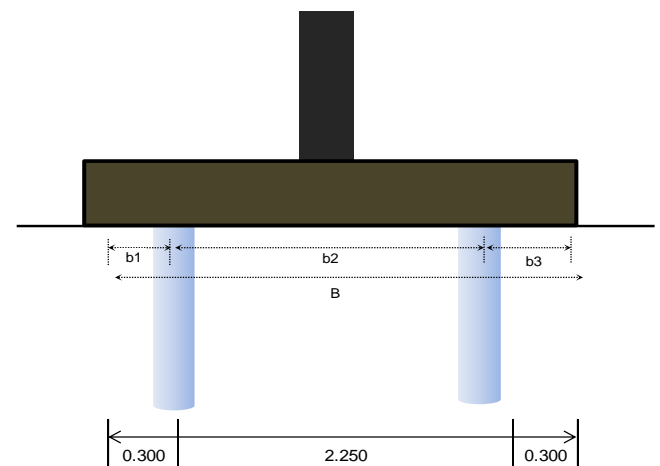
$$\text{Diambil nilai } k = 1$$

$$n = 8$$

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

$$\text{Daya dukung vertikal kelompok tiang} = E_g \times \text{Jumlah}$$

Pile x daya dukung tiang



Tampilan Detail Potongan Pondasi dan Pile Cap

Konstruksi

$$\Phi = \arctan \frac{D}{s}$$

$$m = 2$$

$$n = 4$$

$$D = 30 \text{ cm}$$

$$s = 75 \text{ cm}$$

$$\Phi = \arctan (30/75)$$

$$= 21.80140949$$

$$E_g = 1 - \frac{21.80 (4 - 1) \times 2 + (2-1) \times 4}{90 \times 2 \times 4}$$

$$E_g = 1 - 0.30280$$

$$E_g = 0.69720$$

Daya dukung vertikal kelompok tiang

$$= E_g \times \text{Jumlah Pile} \times \text{daya dukung tiang}$$

$$= 0.69720 \times 8 \times 8.36$$

$$= 46.63643633 \text{ ton}$$

Daya dukung vertikal kelompok tiang \geq Gaya aksial

yang terjadi

$$46.63643633 \text{ ton} \geq 46.32 \text{ ton}$$

(OK...!!!)

Efisiensi kelompok tiang dengan jumlah 8 tiang

Sebesar 100%.

Daya Dukung Kelompok Tiang

Daya dukung kelompok tiang digunakan persamaan

Terzagi dan Peck (1948)

$$Q = (2 L_p (B+L) c_u + 1.3 c_b S' N_c B L) \times 1/S F$$

Untuk kelompok tiang:

$$Q = (2 L_p (B+L) c_u + 1.3 c_b S' N_c B L) \times 1 / S F$$

$$Q = (2 \times 3 \times (0.75 + 2.25) \times 24) + 1.3 \times 24 \times 1.06 \times 8.9 \times 0.75 \times 2.25 \times 1 / 2$$

$$Q = 464.35005 \text{ kN}$$

Untuk tiang tunggal:

$$Q = E_g.m.n.Pall$$

$$Q = 0.697 \times 2 \times 4 \times 83.61$$

$$Q = 466.3643633 \text{ kN}$$

Kontrol: Beban Maksimum Kelompok Tiang \leq

Keruntuhan kelompok tiang

$$46.320 \text{ ton} \leq 46.44 \text{ ton}$$

OK...!!!

Penurunan Tiang Tunggal

$$S = \frac{Q \cdot I}{E_s \cdot d}$$

$$I = I_o R_k R_h R_\mu$$

Sehingga di dapatkan perhitungan :

$$I_o = 0,09$$

$$R_k = 0,6$$

$$R_h = 0,7$$

$$R_\mu = 0,81$$

$$I = 0,09 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,81$$

$$S = \frac{400,09 \cdot 0,030618}{2581 \cdot 0,3}$$

$$S = 0,01582068 \text{ m} = 15,82 \text{ mm}$$

Penurunan Kelompok Tiang

$$S = S_i + S_c$$

S = total settlement

S_i = immediate settlement

S_c = consolidation settlement

Penurunan Segera

^{*)} B < L

Lap/	L	B	q	H	Df	H/B	L/B	Df/B	μ_1	μ_0	E_s	S_i	$\sum S_i$
Depth (m)	(m)	(m)	(kN/m ²)	(m)	(m)						(kN/m ²)	(mm)	(mm)
I	0-2	2.425	1.675	112.1	2	1.19	1	1.19	0.5	0.68	6000	10.64	10.64
II	2-4.5	4.925	4.175	22.144	2.5	0.60	1	1.08	0.3	0.70	6000	3.2358	13.876
III	4.5-11	11.43	10.675	3.7333	6.5	0.61	1	1.03	0.3	0.73	78750	0.1108	13.986

Lap	H	Z	B	L	L/B	Z/B	σ_z/q_n	q	σ_z	m_v	$\sum m_v \times \sigma_z \times H$
	(m)	(m)	(m)	(m)				(kN/m ²)	(kN/m ²)	(m ² /MN)	(mm)
I	2	1	1.675	2.43	1	0.597	0.22	112.1	24.66	0.0068	0.338
II	2.5	3.25	4.175	4.93	1	0.7784	0.20	112.1	22.42	0.0116	0.649
III	6.5	7.75	10.675	11.4	1	0.726	0.21	112.1	23.54	0.0116	1.773

Tabel Rekapitulasi Hasil Penurunan Segera Pondasi

Konstruksi Waterway

Penurunan Konsolidasi

$$\mu_d = 0.725$$

$$M_g = 0.7 \text{ (Jenis tanah konsolidasi penuh)}$$

$$S_c = \mu_g \times \mu_d \times \sum (m_v \times \sigma_z \times H)$$

$$S_c = 0.7 \times 0.725 \times 2.759967711$$

$$S_c = 1.401 \text{ mm}$$

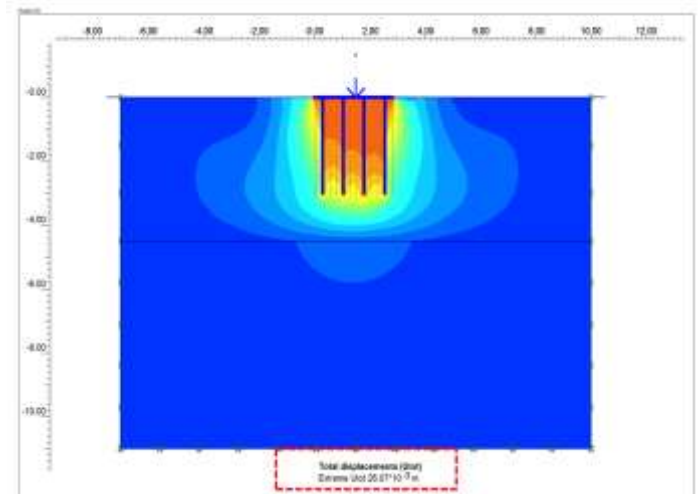
Total penurunan

$$(S) = S_i + S_c$$

$$= 13.98638589 + 1.400683613$$

$$= 15.3870695 \text{ mm}$$

Simulasi penurunan dalam PLAXIS



Gambar Penurunan Total Kelompok Tiang Berdasarkan Hasil Plaxis

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan Perhitungan secara Numerik, dengan 6 tiang dengan Dimensi Pile Cap (3.0 x 1.5 x 0.5) m³ didapatkan hasil dengan 6 tiang sebesar = 40.45778737 ton..Kontrol: Daya dukung vertikal kelompok tiang \geq Gaya aksial yang terjadi 40.45778737 ton \geq 46.315 (ReCheck...!!!). Efisiensi kelompok tiang dengan jumlah 6 tiang Sebesar 87, 345 %.
2. Sedangkan berdasarkan perhitungan 8 tiang, diperoleh Daya Dukung tiang kelompok, $Q = 427, 472 \text{ kN} > 409,15 \text{ kN}$ (Nilai Daya dukung vertikal kelompok tiang lebih besar dari Gaya aksial yang terjadi). Dengan kata lain, Tiang Pancang hanya dengan 8 buah dapat menahan Total Beban yang dimiliki oleh Konstruksi Waterway sehingga konstruksi dikatakan aman
3. Setelah dilakukan Perhitungan analisa secara numerik, Maka didapatkan penurunan tiang tunggal sebesar 15, 82 mm, sedangkan penurunan Kelompok Tiang di dapatkan hasil sebesar 15, 65 mm
4. Sedangkan untuk Penurunan Menurut Program Plaxis 2D di dapatkan penurunan total kelompok tiang sebesar 26, 07 mm.

Saran

Hendaknya dalam setiap pembangunan Konstruksi Waterway di Indonesia senantiasa melakukan analisis penurunan dengan menggunakan metode analisis dan dengan metode program Plaxis, sehingga keakuratan perhitungan dapat terjadi dikarenakan adanya komparasi (perbandingan) perhitungan dan membuat referensi perhitungan semakin bervariasi, serta keakuratan perhitungan dapat terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, Braja M. (1995), Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, C. H. (2010), Mekanika Tanah 1, Gadjah Mada University Press, Jakarta.
- Hardiyatmo, C. H. (2010), Mekanika Tanah 2, Gadjah Mada University Press, Jakarta.
- Hardiyatmo, C. H. (2011), Analisis dan Perancangan Fondasi I, Gadjah Mada University Press, Jakarta.
- Hardiyatmo, C. H. (2011), Analisis dan Perancangan Fondasi II, Gadjah Mada University Press, Jakarta.
- Terzaghi, K dan R.B. Peck. (1987), Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa I, Alih bahasa Bagus, W., dan K. Benny. Erlangga, Jakarta.
- Risal, Muhammad, (2015), Studi Penurunan Badan Jalan Di Atas Tanah Lunak, Universitas Hasanuddin, Makassar
- Ilhamsyah, Andi Muhammad, (2015), Analisa Numerik Raft Pile Sebagai Pondasi Abutmen Jembatan Pada Deposit Tanah Lunak ,Universitas Hasanuddin, Gowa
- Penuntun Praktikum Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Gowa